

令和 5 年 4 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K19957

研究課題名(和文)スプリント時の神経制御の特徴の解明

研究課題名(英文)Neuromuscular control of the sprint running

研究代表者

欠畑 岳 (KAKEHATA, Gaku)

東京大学・大学院総合文化研究科・特別研究員

研究者番号：80824606

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、短距離走(スプリント走)のコーチング現場に科学的な根拠を提示するため、トップスプリンターの走動作を制御する神経制御の特徴を解明することである。そこで本研究は、スプリンターを対象に、全力疾走、異なる走速度、100m走における大腿筋活動(大腿直筋と大腿二頭筋)の制御の特徴について検討した。その結果、股関節屈曲筋である大腿直筋の活動タイミング、主働筋-拮抗筋間の切り替えの能力(Switch)、両脚の主働筋の協調性(Scissors)という大腿筋の制御の能力が、スプリント走のパフォーマンスを規定する要因であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、スプリント走における大腿筋の活動に着目し、その活動のタイミングとパフォーマンスの関係について検討した。これまで、大腿筋(股関節)がスプリント走で重要なパワー発揮源として機能することは知られているが、本研究の結果は、適切なタイミングで必要な筋を活動させたり、反対に休ませたりするという視点が高いスプリント走のパフォーマンスを獲得するために重要であることをコーチング・教育現場に示すものである。

研究成果の概要(英文)：The aim of this project is to clarify the neuromuscular control of the thigh muscle activity in both legs during sprint running. We observed the thigh muscle activities (RF: rectus femoris and BF: biceps femoris) from both legs in three different conditions: 1) Maximal sprinting, 2) Sub-maximal running to maximal sprint running, and 3) 100-m dash. We found that the timing of the hip flexor (RF) had associated with step frequency. Moreover, Switch: intra-limb coordination of the RF and BF activity in the ipsilateral leg, and Scissors: inter-limb coordination of the RF in the swing leg and the BF activity in the contralateral leg was also controlled running speed. In conclusion, sprint running should be considered from the coordination of muscle activities not only in one leg (Switch) but also on both legs (Scissors).

研究分野：スポーツ科学

キーワード：スプリント走 大腿筋 筋活動 神経制御 100m走 大腿直筋 大腿二頭筋 協調性

1. 研究開始当初の背景

日常生活やスポーツに至るあらゆる場面で、走運動は最も基本的かつ重要な動作である。代表的な走能力のひとつに「短距離をいかに速く走るか」というスプリント走が挙げられる。本研究は、スプリント走を「いかに力発揮を最大化させるか(力み)」という捉え方でなく、複数筋を素早く収縮・弛緩(リラックス)させる周期運動という観点から捉える。特にトップスプリンターに共通する両脚を素早く挟み込むような走動作(コーチング現場では“シザース動作”と表現)は、1) 筋の適切な収縮・弛緩のタイミング(Switch)、2) 左右両脚あるいは両腕も含む四肢の協調性(Scissors)が重要であると考えられる。これらの制御能力について、筋電図(EMG)を取得することで解明する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、スプリント走のコーチング現場に科学的な根拠を提示するため、トップスプリンターの走動作およびそれを制御する神経機構を包括的に解明することである。そこで、本研究は、3つの条件下(研究1: 全力疾走、研究2: 異なる走速度、研究3: 100m走)における筋活動のタイミングとスプリント走のパフォーマンスとの関係について検討することで、スプリント走における筋制御の特徴について解明することを目的とした。本研究では、以下2つの筋制御に着目し研究を進めた。

研究課題①: スプリンターのスムーズな走動作に関わる『Switch』の検討

研究課題②: スプリント走におけるシザース動作を可能にする筋活動の特徴: 両脚の『Scissors』の検討

3. 研究の方法

研究1. 全力疾走における両脚の大腿直筋と大腿二頭筋の活動

被験者はオリンピック出場者を含む陸上競技短距離選手18名(WA point 1052点: 男子100m走 10.46秒相当)であった。50m全力疾走中の両脚の大腿直筋(RF)および大腿二頭筋(BF)の筋活動をワイヤレス筋電装置(Delsys Trigno Wireless Sensor)にて取得した。分析区間(30-50m)における時空間的変数(走速度、ピッチ、ストライドなど)をハイスピードカメラおよび光電管を用いて算出した。また、筋活動のタイミングについては、基準脚側(ipsilateral)のRF(iRF)、BF(iBF)に加え、反対脚側(contralateral)のBF(cBF)を対象に、onset/offsetのタイミング(%)を算出した。これらを基に、筋制御の評価指標として、同側の主動筋と拮抗筋の切り替えに要した時間の指標である“Switch1”(iBF-offset から iRF-onset)、“Switch2”(iRF-offset から iBF-onset)をそれぞれ算出した(図1)。また、両脚の主動筋(接地脚のBFとスウィング脚のRF)の活動のタイミング差(同調性)の指標である“Scissors1”(cBF-onset から iRF-onset)および“Scissors2”(iRF-offset から cBF-offset)を算出した。そして、時空間的変数と筋活動のタイミングおよび筋制御の評価指標との相関関係を Pearson の積率相関係数により検討した。

研究2. 異なる走速度における両脚の大腿直筋と大腿二頭筋

研究1と同一の被験者は、異なる7つの主観的努力度(Subjective Effort: SE): 20%、40%、60%、80%、90%、95%、100% SEで50m走を実施した。研究1と同様の手法で分析区間(30-50m)における筋活動のタイミング、“Switch”、“Scissors”および時空間的変数を取得した。主観的努力度の違い(条件間)における時空間変数および筋活動のタイミング、筋活動量について比較した。

研究3. 100m走における両脚の大腿直筋と大腿二頭筋の活動

被験者は陸上競技短距離選手9名(WA point 1030点: 男子100m走 10.53秒相当)であった。データロガー筋電図装置(Delsys Trigno Personal Monitor)を被験者の腰部に装着し100m全力疾走中の両脚のRF、BFの筋活動を記録した。研究1・2と同様に筋活動のタイミング、“Switch”、“Scissors”を取得した。2台のハイスピードカメラの映像より、10mごとの時空間的変数を算出し、最高走速度局面(50-70m)と減速局面(80-100m)における時空間的変数および筋活動のタイミング、筋制御の指標を対応のあるt検定により比較した。

4. 研究成果

研究 1.

図 1 には、スプリント中の両脚から得られた RF、BF の筋活動の生波形を示す。研究 1 では、本研究課題において着目した 2 つの筋制御について定義し(図 1)、それぞれ時空間変数との相関関係について検討した。その結果、走速度と iRF-offset ($r = -0.527, P = 0.025$)に有意な負の相関関係が認められた。またピッチと iRF-onset ($r = -0.652, P = 0.003$)および iRF-offset ($r = -0.498, P = 0.035$)に有意な負の相関関係が認められた。筋制御についても、ピッチと“Switch2”に有意な正の相関関係が ($r = 0.495, P = 0.037$)、“Scissors1” ($r = -0.469, P = 0.049$)および“Scissors2” ($r = 0.574, P = 0.013$)にそれぞれ有意な相関関係が認められた。

まとめると、ピッチの高い選手の特徴として① “Switch”に優れ主動筋(iRF)と拮抗筋(iBF)が同時収縮する現象である共収縮がなく、素早い関節運動に合理的な筋制御であったこと、② 股関節屈曲のために働くスウィング脚の主動筋(iRF)と、股関節伸展のために働く反対側の接地脚の主動筋(cBF)との時間差が少ないという両脚の協調性の能力に優れていたことが明らかとなった。

本知見は、Medicine & Science in Sports & Exercise 誌にまとめられている(Kakehata et al., 2021)。

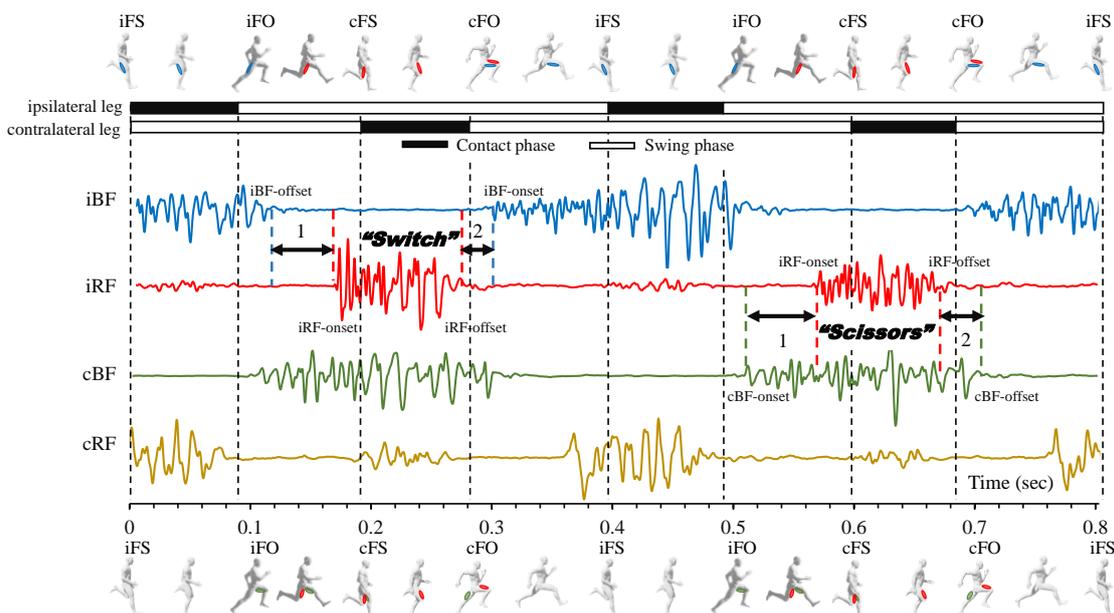


図 1. スプリント中の両脚：基準脚側(ipsilateral leg)と反対脚側(contralateral leg)から得られた RF、BF の筋活動の生波形。青が iBF の活動、赤が iRF の活動、緑が cBF、黄が cRF の活動である。破線はそれぞれ、基準脚と反対脚における FS(接地の瞬間)、FO(離地の瞬間)を示す。Switch は基準脚側の RF、BF の活動の切り替えに要した時間の長さを、Scissors は基準脚側の RF と反対脚側の BF との活動の時間差をそれぞれ示す。(Kakehata et al., 2021 より引用・改変)

研究 2.

主観的努力度の変化に対応して、走速度は増加した(図 2)。また、高速度域(>9 m/s)では高いピッチ(>4 Hz)が観察されたが、ストライドは 80% SE においてプラトーに達した。つまり、高速度域ではストライドでなく、ピッチにより走速度が制御されることが明らかになった。また、高速度域では、スウィング期における RF、接地期およびスウィング期後半における BF の活動時間および活動量がともに増加したものの(図 2)、その効果量は RF が大きかった。つまり、高速度域では高いピッチの獲得をするために、RF の活動のタイミングおよび活動量を制御することによって、素早いスウィング動作を実現していたと考えられる。

ピッチの増加には両脚の素早いスウィング動作が重要になると考えられるが、実際に高速度域では、スウィング脚の RF と接地(反対)脚の BF の活動のタイミング Scissors が短縮された。これは、両脚の素早い下肢動作を達成するための筋制御の特徴が反映されていると解釈できる。また、高速度域では、Switch の時間が短縮された。これは、主動筋-拮抗筋間の活動の切り替えがより短時間に行われていることを示す結果である。以上より、高速度のスプリントでは、より高度かつ繊細な両脚の大腿筋活動の制御能力が要求されることが示唆された。

本知見は、Medicine & Science in Sports & Exercise 誌にまとめられている(Kakehata et al., 2023)。

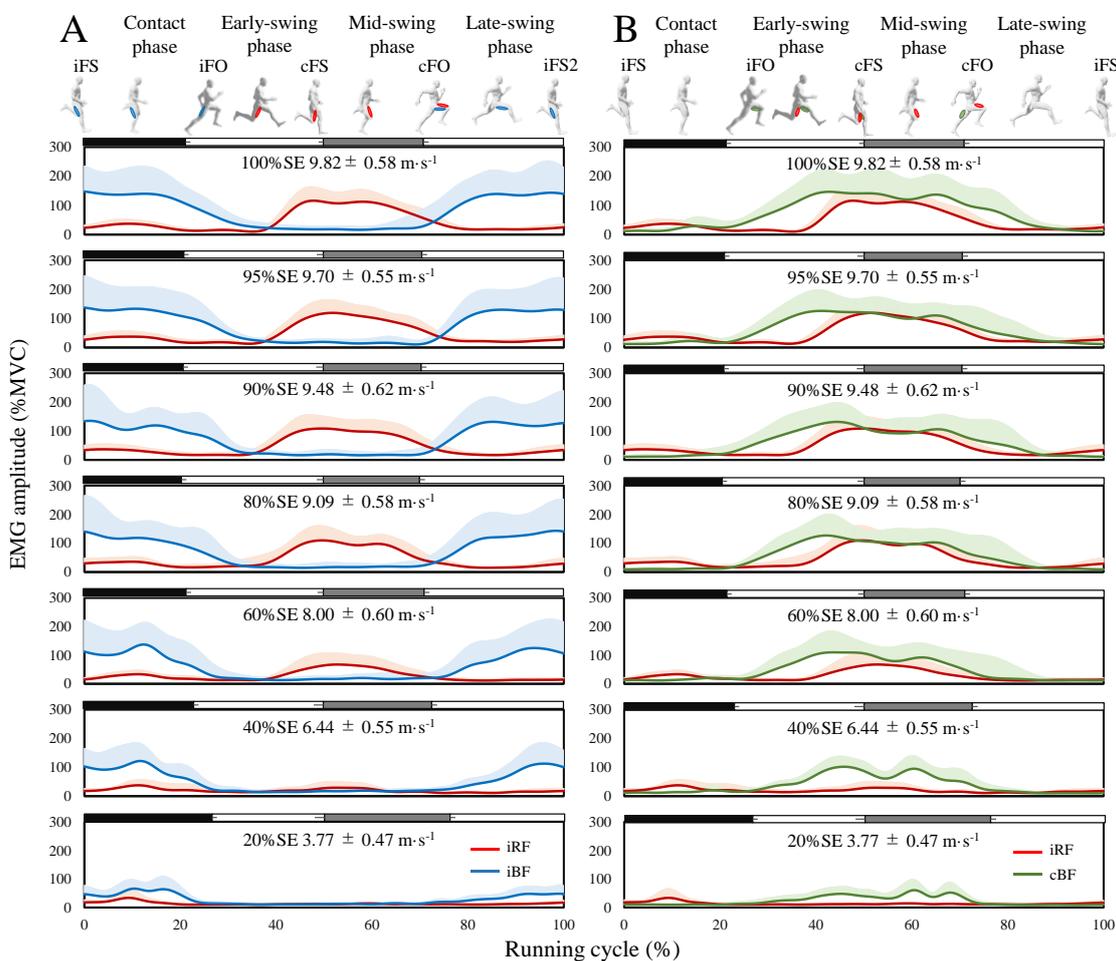


図 2. 異なる速度条件下における両脚: 基準脚側(ipsilateral leg)と反対脚側(contralateral leg)から得られた RF、BF の筋活動の加算平均値。横軸はランニングサイクルによって正規化された時間軸、縦軸が最大随意収縮時(MVC)の筋活動量によって正規化された筋活動量を示す。黒が基準脚の接地期、灰色が反対側の接地期、白が滞空期をそれぞれ示す。赤が iRF の活動、青が iBF の活動、緑が cBF の活動である (Kakehata et al., 2023 より引用・改変)。

研究 3.

図 3 には、測定時の 100m 走の記録が 10.80 秒の被験者における両脚の RF、BF の生波形、および走速度、ピッチ、ストライドの経時的変化の一例を示した。100m 走の減速局面(80-100m 区間)では、最高速度局面(50-70m 区間)と比較して、走速度とピッチが有意に減少した。一方、ストライドは有意に増加した。また、RF と BF のタイミングがランニングサイクルの後半に遅れた。さらに、接地脚(BF)に対するスウィング脚(RF)のタイミング(“Scissors”)が遅延した。つまり、減速局面では両脚の大腿筋活動の制御パターンに変化が生じ、結果としてスウィング脚のリカバリー動作の遅れに繋がり、ピッチの低下を惹起していたと推察される。以上より、100m 走のパフォーマンスの制限因子には、大腿筋活動の制御パターンが関与している可能性が示唆された。

本知見は、Medicine & Science in Sports & Exercise 誌にまとめられている(Kakehata et al., 2022)。

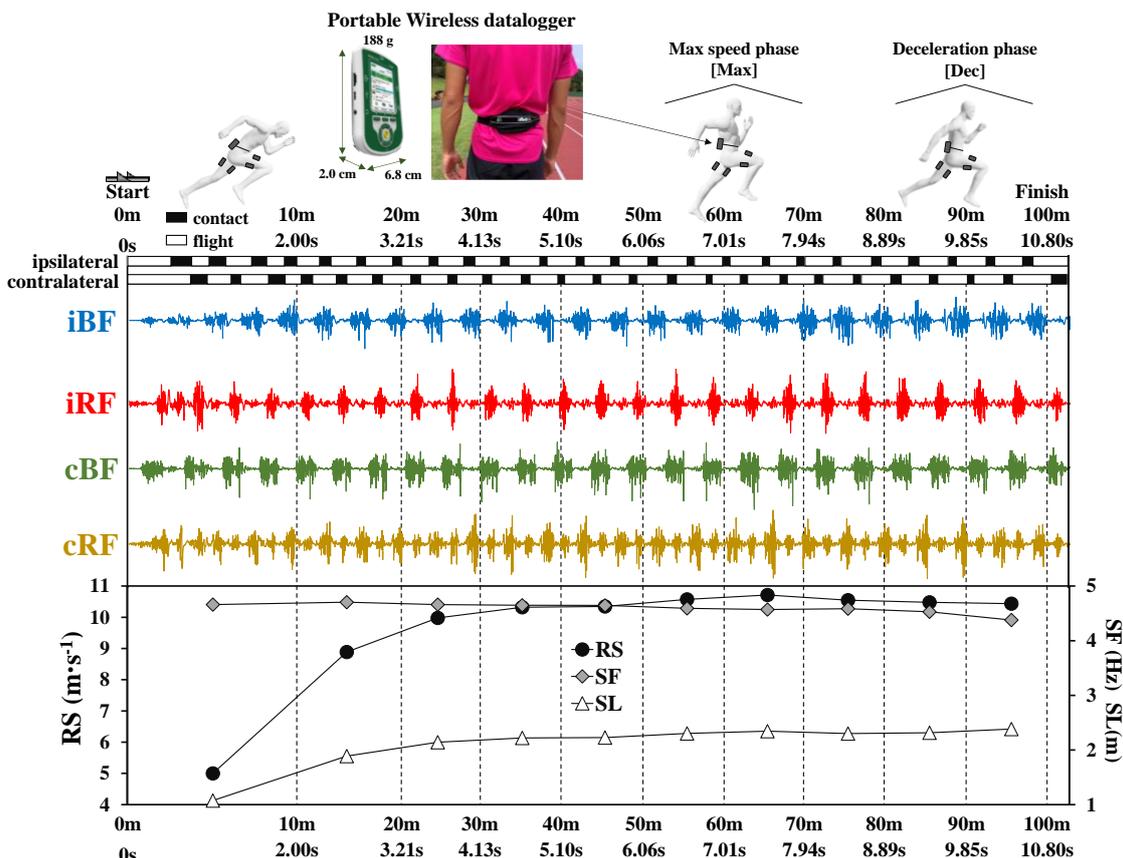


図 3. 100m 全力疾走中の両脚から得られた RF、BF の筋活動の生波形。横軸には 10m ごとの通過タイムを示した。黒が接地期、白が滞空期をそれぞれ示す。筋活動の記録には EMG データロガー装置を用い、写真のように被験者の腰部に装着した。赤が iRF の活動、青が iBF の活動、緑が cBF、黄が cRF の活動である。下図は走速度(RS)、ピッチ(SF)、ストライド(SL)の経時的変化を示す(Kakehata et al., 2022 より引用・改変)。

結論

スプリンターのハイパフォーマンスには、大腿部(大腿直筋および大腿二頭筋)における主働筋および拮抗筋間の切り替え、そして両脚の協調性という筋制御の能力が関係している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 KAKEHATA GAKU, GOTO YUTA, ISO SHIGEO, KANOSUE KAZUYUKI	4. 巻 53
2. 論文標題 Timing of Rectus Femoris and Biceps Femoris Muscle Activities in Both Legs at Maximal Running Speed	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Medicine & Science in Sports & Exercise	6. 最初と最後の頁 643 ~ 652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/MSS.0000000000002497	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 KAKEHATA GAKU, GOTO YUTA, ISO SHIGEO, KANOSUE KAZUYUKI	4. 巻 54
2. 論文標題 The Timing of Thigh Muscle Activity Is a Factor Limiting Performance in the Deceleration Phase of the 100-m Dash	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Medicine & Science in Sports & Exercise	6. 最初と最後の頁 1002 ~ 1012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/mss.0000000000002876	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 KAKEHATA GAKU, GOTO YUTA, YOKOYAMA HIKARU, ISO SHIGEO, KANOSUE KAZUYUKI	4. 巻 55
2. 論文標題 Interlimb and Intralimb Coordination of Rectus Femoris and Biceps Femoris Muscles at Different Running Speeds	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Medicine & Science in Sports & Exercise	6. 最初と最後の頁 945 ~ 956
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/MSS.0000000000003106	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 欠畑岳	4. 巻 35
2. 論文標題 スプリント走における巧みな筋制御	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 トレーニング科学_特集【スポーツ動作における巧みな動き】	6. 最初と最後の頁 3-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 欠畑岳、後藤悠太、磯繁雄、彼末一之
2. 発表標題 100m走の減速はなぜ生じるか？ - 大腿筋活動の制御から探る - 「優秀発表賞」
3. 学会等名 日本コーチング学会 第33回学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 欠畑岳、後藤悠太、田村優、磯繁雄、彼末一之
2. 発表標題 スプリントにおけるピッチを規定する両脚の筋制御の特徴
3. 学会等名 第31回日本スプリント学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 欠畑岳、後藤悠太、塚本弘樹、磯繁雄、彼末一之
2. 発表標題 スプリント時における両脚の筋活動のタイミングに関する研究
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kakehata G. Iso S. Kanosue K.
2. 発表標題 Why deceleration occur in the 100-m dash? : Timing of thigh muscle activity is a factor limiting performance.
3. 学会等名 27th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------